

ANALISIS KONFIGURASI PONDASI TIANG PANCANG KERNEL JETTY TERHADAP GAYA LATERAL PADA PEMBANGUNAN JETTY PULAU LAUT

Tika Andani Setepu

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Prabumulih Km 32 Indralaya, Sumatera Selatan
E-mail : my_luphz_tycha@yahoo.co.id

ABSTRACT

Design dock jetty type can not be separated from use as foundation piles which support the upper structure. Design pile configuration on the jetty structure affects the use of the pile number and cost required for construction. Configuration is the arrangement of piles piles are based on certain distance. Planning pile configuration aims to reduce the decline, pile deflection and efficient use of the stake amount. This study aims to analyze the results of the lateral bearing capacity calculation and comparison of the results of the calculation of lateral deflection for each type of pile configurations pancang. Untuk modeling the structure of each type of pile configurations using SAP2000 program support version 14 and the calculation of lateral load and lateral deflection ultimate pile using Broms method. The results showed that the pile configuration type 1 better use than pile configuration type 2 and type 3. Value of lateral deflection and lateral force to the pile configuration type 1: $\delta X = -13,2804$ cm, $\delta Y = 6,675895$ cm and $H_X = 94,002$ kN, $H_Y = 103,962$ kN. Value of lateral deflection and lateral force for type 2 pile configurations: $\delta X = 29,4179$ cm, $\delta Y = 15,11845$ cm and $H_X = 81,396$ kN, $H_Y = 71,914$ kN. Value of lateral deflection and lateral force for type 3 pile configuration: $\delta X = -2,11105$ cm, $\delta Y = 3,293682$ cm and $H_X = 75,98$ kN, $H_Y = 36,929$ kN.

Keywords: Foundation Piles, Piles Configuration, SAP2000, Lateral Deflection, Lateral Force, Broms method

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan jetty di desa Sungai Taib Kabupaten Kota Baru Kalimantan Selatan berguna sebagai sarana penghubung jalur darat ke jalur air sebagai fasilitas industri Palm Refinery Oil. Pekerjaan jetty pada proyek ini dibagi kedalam empat scope pekerjaan besar yaitu pembangunan struktur *trestle* yang berfungsi sebagai jalur penghubung utama antara laut dan darat, pembangunan CPO serta kernel jetty yang akan digunakan sebagai sarana sandar untuk melayani kapal-kapal berkapasitas hingga 5000 *dead weight tonnage* (5000 DWT) dan yang terakhir adalah pembangunan *main jetty* yaitu sarana sandar utama, *main jetty* direncanakan mampu melayani kapal berkapasitas 40.000 DWT.

Perencanaan dermaga tipe jetty tidak bisa lepas dari penggunaan tiang pancang sebagai pondasi yang menyangga struktur bagian atas. Perencanaan konfigurasi tiang pada struktur jetty dermaga sangat berpengaruh terhadap penggunaan jumlah tiang dan biaya yang dibutuhkan untuk konstruksi. Konfigurasi tiang pancang adalah susunan tiang pancang yang berdasarkan jarak tertentu. Perencanaan konfigurasi tiang pancang bertujuan untuk mengurangi penurunan, defleksi tiang pancang dan efisiensi penggunaan jumlah tiang pancang. Dalam tugas akhir ini akan

menganalisa secara struktural untuk beberapa alternatif tipe konfigurasi tiang pancang yaitu Tipe konfigurasi yang digunakan ada dua tipe yaitu Konfigurasi tipe 1 merupakan konfigurasi tiang pancang yang sesuai dengan perencanaan di lapangan sedangkan konfigurasi tipe 2 dan konfigurasi tiang tipe 3 merupakan konfigurasi tiang pancang yang direncanakan sendiri.

1.2. Perumusan Masalah

- Bagaimana besar nilai daya dukung lateral untuk tiap tipe konfigurasi tiang pancang?
- Bagaimana besar nilai defleksi lateral untuk tiap tipe konfigurasi tiang pancang ?

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai pada penulisan tugas akhir ini adalah :

- Menganalisa hasil perhitungan daya dukung lateral tiap tipe konfigurasi pondasi tiang pancang.
- Menganalisa perbandingan hasil perhitungan defleksi lateral tiap tipe konfigurasi tiang pancang.

1.4. Ruang Lingkup Penulisan

Ruang lingkup penulisan sebagai berikut :

- Tipe konfigurasi yang digunakan ada tiga tipe yaitu Konfigurasi tiang tipe 1 merupakan konfigurasi tiang pancang yang sesuai dengan perencanaan di lapangan sedangkan konfigurasi tiang tipe 2 dan konfigurasi tiang tipe 3 merupakan konfigurasi tiang pancang yang direncanakan sendiri.
- Perhitungan dan pembahasan hanya pada struktur plat form dibagian kernel jetty saja.
- Menggunakan peraturan *Technical Standards And Commentaries For Port And Harbour Facilities In Japan* Tahun 2002 untuk perhitungan pembebanan struktur jetty.
- Menggunakan peraturan *Port Of Long Beach Wharf Design Criteria Version 3.0* Tahun 2012 untuk kombinasi pembebanan.
- Pemodelan struktur bawah plat form menggunakan bantuan program Sap 2000 versi 14.
- Perhitungan beban lateral ultimit tiang dan defleksi lateral menggunakan metode broms.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gaya – Gaya Yang Bekerja Pada Dermaga

Gaya – gaya yang bekerja pada dermaga dapat dibedakan menjadi gaya vertikal dan gaya horizontal. Gaya vertikal meliputi berat sendiri bangunan dermaga, beban hidup, beban peralatan bongkar muat. Gaya horizontal meliputi gaya benturan kapal, gaya tambat, gaya arus pada tiang pancang dan gaya gempa.

2.1.1 Gaya Horizontal

1. Gaya Benturan Kapal

Dalam perencanaan, dianggap bahwa benturan maksimum terjadi apabila kapal bermuatan penuh menghantam dermaga dengan sudut 10° terhadap sisi depan dermaga seperti Gambar II.1. Besarnya energi benturan yang diberikan oleh kapal menurut OCDI sebagai berikut :

$$E = \frac{M_s \times V^2}{2} \times C_m \times C_e \times C_s \times C_c \quad (1)$$

Dimana :

E = energi benturan kapal (kN.m)

V = kecepatan kapal saat merapat (m/det)

M_s = berat kapal yang diambil dari

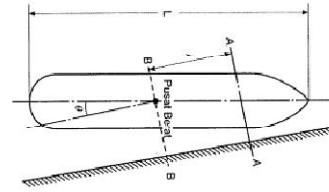
displacement tonnage kapal (DT)

C_m = koefisien massa

C_e = koefisien eksentrisitas

C_s = koefisien kekerasan (diambil 1)

C_c = koefisien bentuk dari tambatan (diambil 1)



Sumber : Bambang Triadmojo, 2009

Gambar II.2. Jarak Pusat Berat Kapal Sampai Titik Sandar Kapal

Koefisien massa tergantung pada gerakan air di sekeliling kapal yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2} \frac{d}{C_b B} \quad (2)$$

$$C_b = \frac{Vol}{L_{pp} \times B \times d} \quad (3)$$

Dimana :

C_b = koefisien blok kapal

D = *draft* kapal (m)

B = lebar kapal (m)

L_{pp} = panjang garis air (m)

Koefisien eksentrisitas adalah perbandingan antara energi sisa dan energi kinetik kapal yang merapat, dan dapat dihitung dengan rumus :

$$C_e = \frac{1}{1 + (l/r)^2} \quad (4)$$

$$r = (0,19 C_b + 0,11) L_{pp} \quad (5)$$

Dimana :

l = jarak sepanjang permukaan air dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal (m)

r = jari – jari putaran disekeliling pusat berat kapal pada permukaan air (m)

Nilai l dapat dihitung dengan rumus :

Dermaga: $l = \frac{1}{4} L_{oa}$

Dolpin : $l = \frac{1}{6} L_{oa}$

2. Gaya Tambat

Kapal yang merapat di dermaga akan ditambatkan dengan menggunakan tali ke alat penambat yang disebut *bollard*. Pengikat ini dimaksudkan untuk menahan gerakan kapal yang disebabkan oleh angin dan arus.

3. Gaya Arus Pada Tiang Pancang

Gaya arus pada tiang pancang menurut OCDI dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$F_D = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho_o \times A \times U^2 \quad (6)$$

Dimana :

F_D = gaya *drag* akibat arus (kN)

F_L = gaya angkat akibat arus (kN)

A = luas penampang yang terkena arus (m^2)

U = kecepatan arus (m/det)

C_D = koefisien *drag*

4. Gaya Angin Pada Struktur

Angin yang berhembus kea rah badan kapal yang ditambatkan akan menyebabkan gerakan pada kapal yang bias menimbulkan gaya terhadap dermaga. Beban angin dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$q = \frac{1}{2} \times \rho_a \times U^2 \quad (7)$$

$$p = c \times q \times A \quad (8)$$

Dimana :

q = *velocity pressure* (kN/m^2)

ρ_a = massa jenis udara (kN/m^3)

U = kecepatan angin (m/det)

c = koefisien angin

p = gaya angin (kN)

5. Gaya Gempa

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa bertujuan untuk mencegah terjadinya keruntuhan struktur yang dapat berakibat fatal pada saat terjadi gempa. Analisis beban gempa berdasarkan SNI – 03 – 1726 – 2003. Perhitungan beban geser dasar struktur yaitu dengan persamaan berikut :

$$V_x = V_y = \frac{C \times I}{R} \times W_t \quad (9)$$

Dimana:

C = koefisien gempa dasar

I = faktor keutamaan

R = faktor reduksi gempa

W_t = berat total struktur

2.1.2 Gaya Vertikal

1. Beban Mati

Beban mati yang terjadi akibat berat sendiri jetty dan tiang pancang dan berat mati tambahan yang berupa berat *bollard* dan *infil concrete*.

2. Beban Hidup

Beban hidup biasanya terdiri dari beban merata, beban terpusat akibat roda-roda truk atau peralatan yang bekerja untuk melakukan bongkar muat dalam pelabuhan.

2.2. Beban Lateral Ultimit Tiang Tunggal

Untuk menentukan besar tahanan ultimit tiang yang mendukung beban lateral, perlu diketahui faktor kekakuan tiang, R dan T . Faktor ini dipengaruhi oleh kekakuan tiang (EI) dan kompresibilitas tanah (modulus tanah), K .

Jika tanah berupa lempung kaku OC, Faktor kekakuan untuk modulus tanah konstan (R) dinyatakan :

$$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{K}} \quad (10)$$

Dimana :

K = modulus tanah = $k_1/1,5$

k_1 = modulus reaksi subgrade dari Terzaghi

E = modulus elastis tiang

I = momen inersia tiang

D = diameter tiang

Nilai-nilai k_1 yang disarankan oleh Tezaghi (1955), ditunjukkan dalam Tabel II.1. di bawah ini :

Tabel II.1. Nilai k_1

Konsistensi	Kaku	Sangat kaku	Keras
Kohesi undrained (c_u), kN/m^2	100 – 200	200 – 400	> 400
k_1 , MN/m^3	18 – 36	36 – 72	> 72
k_1 direkomendasikan, MN/m^3	27	54	> 108

Sumber : Tomlinson, 1994

Pada tanah lempung NC dan tanah granuler. Faktor kekakuan untuk modulus tanah yang tidak konstan (T) ini dinyatakan:

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} \quad (11)$$

Dimana :

n_h = koefisien variasi modulus

Nilai-nilai n_h ditunjukkan dalam Tabel II.2. dan Tabel II.3. di bawah ini :

Tabel II.2. Nilai Koefisien Variasi Modulus Tanah Granuler

Kerapatan relatif (Dr)	Tidak Padat	Sedang	Padat
Interval nilai A	100 – 300	300 – 1000	1000 – 2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
n_b , pasir kering atau lembab (Terzaghi) (kN/m ³)	2425	7275	19400
n_b , pasir terendam air (kN/m ³), Terzaghi Reese dkk	1386 5300	4850 16300	11779 34000

Sumber : Tomlinson, 1994

Tabel II.3. Nilai Koefisien Variasi Modulus Tanah kohesif

Tanah	n_b (kN/m ³)	Referensi
Lempung NC lunak	166 – 3518	Reese dan Matlock (1956)
	277 – 554	Davisson – Prakash (1963)
Lempung NC organik	111 – 277	Peck dan Davisson (1962)
	111 – 831	Davisson (1970)
Gambut	55	Davisson (1970)
	27,7 – 111	Wilson dan Hilts (1967)

Sumber : Tomlinson, 1994

Kriteria tiang kaku (pendek) dan tiang tidak kaku (panjang) berdasarkan faktor kekakuan diperlihatkan pada Tabel II.4. di bawah ini:

Tabel II.4. Kriteria Tiang

Tipe tiang	Modulus tanah bertambah dengan kedalaman	Modulus tanah konstan
Kaku	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$
Tidak kaku	$L \geq 4T$	$L \geq 3,5R$

Sumber : Tomlinson, 1994

Dilain hal, besarnya gaya lateral ultimit (H_U) yang bekerja pada sebuah tiang panjang dapat disederhanakan sebagai berikut :

a. Untuk *free headed pile*

$$H_U = \frac{M_U}{(e + Z_f)} \quad (12)$$

b. Untuk *fixed headed pile*

$$H_U = \frac{2M_U}{(e + Z_f)} \quad (13)$$

Dimana :

 H_U = gaya lateral ultimit (kN) M_U = momen ultimit (kN.m) e = jarak antara *lateral load* yang bekerja dengan muka tanah (m) Z_f = letak titik jepit tiang (m)

2.3. Defleksi Tiang Vertikal

Dilain hal, besarnya defleksi lateral ultimit (y) dari tiang vertikal akibat *lateral loads* dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

a. Untuk *free headed pile*

$$y = \frac{H(e + Z_f)^3}{3EI} \quad (14)$$

b. Untuk *fixed headed pile*

$$y = \frac{H(e + Z_f)^3}{12EI} \quad (15)$$

Dimana :

 E = *elastic modulus* dari material tiang pondasi (Mpa) I = momen inersia dari tiang pondasi (m⁴) H = *lateral load* (kN)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis mengumpulkan dan mempelajari bahan – bahan yang berkaitan dengan masalah-masalah yang diteliti. Bahan-bahan tersebut berupa bahan-bahan yang didapat dari tulisan-tulisan ilmiah, diktat-diktat, jurnal-jurnal dan buku maupun internet yang berkaitan dengan masalah yang diteliti.

3.2. Pengumpulan Data

Data-data dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah data sekunder. Dimana data sekunder berupa :

a. Data Tanah

Data tanah yang diperoleh dan digunakan dalam penulisan laporan akhir ini adalah data bor yang disertakan dalam lampiran.

b. Data Standar Kriteria Struktur

Yaitu berupa data standar-standar perencanaan yang akan dipakai dalam penyusunan laporan tugas akhir ini:

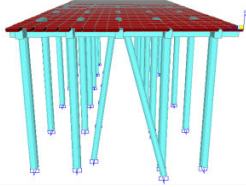
1. Untuk perhitungan pembebanan struktur *jetty* menggunakan *The Overseas Coastal Area Development Institute Of Japan* (OCDI) tahun 2002.
2. Untuk perencanaan ketahanan gempa menggunakan SNI 03-1726-2002.
3. Untuk perhitungan struktur beton menggunakan SNI 03-2847-2002.
4. Untuk kombinasi pembebanan menggunakan *Port Of Long Beach Wharf Design Criteria* (POLBWDC) tahun 2012.

c. Data detail teknis proyek

Data detail teknis proyek berupa lokasi proyek dan gambar detail kernel *jetty* yang disertakan dalam lampiran.

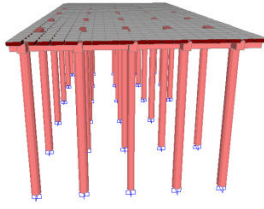
3.3. Pemodelan Struktur

Pada penulisan Tugas Akhir ini dibahas tentang pemodelan konfigurasi tiang pancang. Bentuk pemodelan struktur kernel jetty dalam SAP2000 dapat dilihat pada Gambar III.1. dan Gambar III.2.



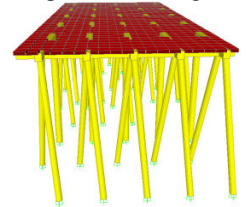
Sumber : Penulis

Gambar III.1. Tampak 3D Konfigurasi Tiang Tipe 1



Sumber : Penulis

Gambar III.2. Tampak 3D Konfigurasi Tiang Tipe 2



Sumber : Penulis

Gambar III.3. Tampak 3D Konfigurasi Tiang Tipe 3

3.4. Analisa Perhitungan

Langkah-langkah dalam analisa perhitungan sebagai berikut :

1. Pembebanan
2. Kombinasi Pembebanan
3. Perhitungan Beban Lateral Ultimit Tiang
4. Perhitungan Defleksi Lateral

3.5. Pemodelan SAP2000 versi 14

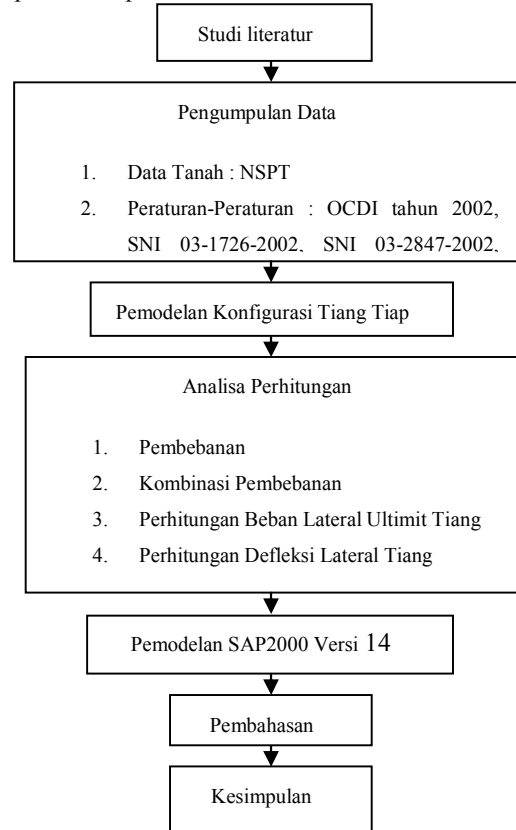
3.6. Pembahasan

Setelah analisa perhitungan, dengan adanya perubahan konfigurasi tiang pancang, maka yang akan dibahas adalah perbandingan gaya-gaya dalam dan defleksi yang terjadi pada tiap tipe konfigurasi tiang pancang yang diperoleh dari hasil *running* program SAP2000 tersebut dan juga pembahasan mengenai beban lateral tiang pancang.

3.7. Kesimpulan

Dari seluruh langkah-langkah yang telah dilakukan, dimulai dari studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, analisa dan perhitungan, maka selanjutnya adalah melakukan rangkuman dari seluruh data-data yang telah dihasilkan.

Bagan alir penelitian dan bagan analisa perhitungan dapat dilihat pada Gambar III.4. dibawah ini :



Gambar III.4. Bagan Alir Penelitian

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data – Data Perencanaan

4.1.1. Data Angin

Kecepatan angin yang terjadi pada Proyek Pembangunan Jetty di Pulau Laut Kalimantan Selatan sebesar 25 m/det = 90 km/jam.

4.1.2. Data Arus

Kecepatan arus yang terjadi pada Proyek Pembangunan Jetty di Pulau Laut Kalimantan Selatan adalah 15 cm/det.

4.1.3. Data Kapal

Adapun spesifikasi kapal tersebut dapat dilihat pada Tabel IV.1.

Tabel IV.1. Desain Kapal

Ship	DWT (ton)	Gross Tonnage (Tons)	Length Overall (m)	Breadth (m)	Depth (m)	Full Load Draft (m)
Barge	5.000	2.139	70	22,5	4,9	3,9

Sumber : Data Proyek

4.2. Perhitungan Titik Jepit Tiang Pancang

Cara sederhana dalam menentukan letak titik jepit tiang pancang (z_f) yaitu :

- Untuk tanah yang berbutir halus lunak z_f diambil 1,5 m
- Untuk tanah yang berbutir halus kasar z_f diambil 3 m

Letak titik jepit tiang pancang yang digunakan adalah 1,5 m.

Jadi panjang 1 tiang pancang (L) = *deck elevation* + *seabed* + z_f = 3,5 m + 8 m + 1,5 m = 13 m

4.3. Pembebanan**4.3.1. Gaya Vertikal**

1. Beban Mati

Beban mati meliputi berat sendiri struktur dan berat sendiri tiang pancang tersebut :

- Plat Lantai
Dimensi :
Panjang (l) = 37 m Lebar (b) = 19 m
Tebal (t) = 0,3 m

- Balok
Dimensi :
 $t = 0,7$ m $b = 0,6$ m

- Pile Cap*
 $W_{PC1} = 34,608$ kN $W_{P2} = 53,088$ kN
 $W_{PC3} = 71,064$ kN $W_{PC4} = 39,104$ kN

2. Beban Hidup
Direncanakan beban hidup sebesar 1,5 kN/m².

- Beban Mati tambahan
 - Berat *bollard* = 30 kN
 - Infill concrete* SPP 609 = 10,481 kN

4.3.2. Gaya Horizontal

1. Gaya Sandar Kapal

$$E = 159,255 \text{ kN}$$

$$E_y = 159,255 \text{ kN} \times \sin 10^\circ = 27,6543 \text{ kN}$$

$$E_x = 159,255 \text{ kN} \times \cos 10^\circ = 156,8356 \text{ kN}$$

- Gaya Tambat Kapal
Gaya *bollard* yang bekerja sebesar 350 kN.
 $F_{by} = \cos 45^\circ \times 350 \text{ kN} = 247,8737 \text{ kN}$
 $F_{bx} = \sin 45^\circ \times 350 \text{ kN} = 247,8737 \text{ kN}$

- Gaya Angin
Besarnya gaya angin arah y :
 $p_1 = 1,921875 \text{ kN}$ $p_2 = 4,0359 \text{ kN}$

Besarnya gaya angin arah x :
 $p_1 = 1,153125 \text{ kN}$ $p_2 = 2,30625 \text{ kN}$

4. Gaya Arus Pada Tiang Pancang

- Tiang Pancang CSP 800
 $F_D = 0,02028 \text{ kN/m}$

- Tiang Pancang SPP 609
 $F_D = 0,01175 \text{ kN/m}$

5. Gaya Gempa

$$V_x = V_y = \frac{C \times I}{R} \times W_t = \frac{0,2 \times 1}{8,5} \times 17.049,3264$$

$$\text{kN}$$

$$= 401,1606 \text{ kN}$$

4.4. Perhitungan Beban Lateral Ultimit

1. Tiang Pancang CSP800

$$A_{\text{tiang pancang}} = 0,256224 \text{ m}^2$$

Mutu beton tiang pancang = K-600

$$f_c' = \frac{0,83 \times 600}{10} = 49,8 \text{ Mpa} = 49.800 \text{ kN/m}^2$$

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times (OD^4 - ID^4) = \frac{1}{64} \times \pi \times (0,8^4 - 0,56^4) = 0,01527 \text{ m}^4$$

$$E = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{49.800 \text{ kN/m}^2}$$

$$= 1.048.847,939 \text{ kN/m}^2$$

$$\eta_h = 500 \text{ kN/m}^3$$

$$\frac{L_p}{T} > 4 \rightarrow \text{tiang panjang}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{\eta h}} = \sqrt[5]{\frac{1.048.847,939 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,01527 \text{ m}^4}{500 \text{ kN/m}^3}}$$

$$= 2,000397 \text{ m}$$

$$\frac{45 \text{ m}}{2,000397 \text{ m}} > 4$$

$$22,4955 > 4 \rightarrow \text{Tiang panjang}$$

Tiang panjang dengan kondisi ujung jepit pada tanah kohesif.

$$Z = \frac{\pi}{32} \times \frac{OD^4 - ID^4}{OD} = \frac{\pi}{32} \times \frac{0,8^4 - 0,56^4}{0,8} = 0,0381 \text{ m}^3$$

$$\sigma = 0,6 f_c' = 0,6 \times 49.800 \text{ kN/m}^2$$

$$= 29.880 \text{ kN/m}^2$$

$$Mu = \sigma \times Z = 29.880 \text{ kN/m}^2 \times 0,0381 \text{ m}^3$$

$$= 1.138,428 \text{ kN.m}$$

$$e = 8 \text{ m}$$

Gaya lateral ultimit untuk perimeter lebar tiang :

$$H_u = \frac{2 \times Mu}{(e + z_f)} = \frac{2 \times 1138,428 \text{ kN.m}}{(8 + 1,5) \text{ m}}$$

$$= 239,66905 \text{ kN/m lebar tiang}$$

Gaya lateral ultimit untuk tiang :

$$d_{\text{pile}} = 0,8 \text{ m}$$

$$H_u = 239,66905 \text{ kN/m} \times 0,8 \text{ m}$$

$$= 191,73524 \text{ kN}$$

Gaya lateral izin :

$$H_{\text{all}} = \frac{H_u}{SF} = \frac{191,73524 \text{ kN}}{2} = 95,86762 \text{ kN}$$

Kontrol Beban lateral :

a. Konfigurasi Tiang Tipe 1

Gaya lateral maksimum tiang pancang yang dihasilkan dari SAP2000 terdapat pada *joint* no.28 sebagai berikut :

$$H_X \leq H_{all}$$

$$13,469 \text{ kN} \leq 95,86762 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

$$H_Y \leq H_{all}$$

$$0,759 \text{ kN} \leq 95,86762 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

b. Konfigurasi Tiang Tipe 2

Gaya lateral maksimum tiang pancang yang dihasilkan dari SAP2000 terdapat pada *joint* no.28 sebagai berikut :

$$H_X \leq H_{all}$$

$$20,421 \text{ kN} \leq 95,86762 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

$$H_Y \leq H_{all}$$

$$11,556 \text{ kN} \leq 95,86762 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

c. Konfigurasi Tiang Tipe 3

Gaya lateral maksimum tiang pancang yang dihasilkan dari SAP2000 terdapat pada *joint* no.28 sebagai berikut :

$$H_X \leq H_{all}$$

$$1,093 \text{ kN} \leq 95,86762 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

$$H_Y \leq H_{all}$$

$$0,509 \text{ kN} \leq 95,86762 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

2. Tiang Pancang SPP609

$$f_y = 240 \text{ MPa} = 240 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 210.000 \text{ MPa} = 210 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$A = 0,0261562 \text{ m}^2 \quad \eta_n = 500 \text{ kN/m}^3$$

$$I = 1,158 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \quad e = 8 \text{ m}$$

$$Z = 3,8053 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$M_u = f_y \times Z = 240 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 \times 3,8053 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 913,272 \text{ kN.m}$$

Gaya lateral ultimit untuk permeter lebar tiang :

$$H_u = \frac{2 \times M_u}{(e + zf)} = \frac{2 \times 913,272 \text{ kN.m}}{(8 + 1,5)m}$$

$$= 192,26778 \text{ kN/m lebar tiang}$$

Gaya lateral ultimit untuk tiang :

$$d_{pile} = 0,609 \text{ m}$$

$$H_u = 192,26778 \text{ kN/m} \times 0,609 \text{ m} = 117,09108 \text{ kN}$$

Gaya lateral izin :

$$H_{all} = \frac{H_u}{SF} = \frac{117,09108 \text{ kN}}{2} = 58,5455 \text{ kN}$$

Kontrol Beban Lateral :

a. Konfigurasi Tipe 1

Gaya lateral maksimum tiang pancang yang dihasilkan dari SAP2000 terdapat pada *joint* no.13 sebagai berikut :

$$H_X \leq H_{all}$$

$$94,002 \text{ kN} \leq 117,09108 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

$$H_Y \leq H_{all}$$

$$103,962 \text{ kN} \leq 117,09108 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

b. Konfigurasi Tiang Tipe 2

Gaya lateral maksimum tiang pancang yang dihasilkan dari SAP2000 terdapat pada *joint* no.7 sebagai berikut :

$$H_X \leq H_{all}$$

$$81,396 \text{ kN} \leq 58,5455 \text{ kN} \rightarrow \text{Tidak Oke}$$

$$H_Y \leq H_{all}$$

$$71,914 \text{ kN} \leq 58,5455 \text{ kN} \rightarrow \text{Tidak Oke}$$

c. Konfigurasi Tipe 3

Gaya lateral maksimum tiang pancang yang dihasilkan dari SAP2000 terdapat pada *joint* no.37 sebagai berikut :

$$H_X \leq H_{all}$$

$$75,98 \text{ kN} \leq 117,09108 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

$$H_Y \leq H_{all}$$

$$36,929 \text{ kN} \leq 117,09108 \text{ kN} \rightarrow \text{Oke}$$

4.5. Kontrol Defleksi Lateral

Defleksi untuk *fixed headed pile* dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\delta = \frac{H_{all} (e + zf)^3}{12 \times E \times I} = \frac{95,86762 \text{ kN} (8 \text{ m} + 1,5 \text{ m})^3}{12 \times 1.048.847,939 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,01527 \text{ m}^4}$$

$$= \frac{82.194,5007}{12,586 \times 10^6} = 0,42767 \text{ m} = 42,76711 \text{ cm}$$

a. Konfigurasi Tiang Tipe 1

Besarnya defleksi lateral yang dihasilkan dari SAP2000 terdapat pada *joint* CSP_24 sebagai berikut :

$$\delta_X \leq \delta$$

$$13,2804 \text{ cm} \leq 42,76711 \text{ cm} \rightarrow \text{Oke}$$

$$\delta_Y \leq \delta$$

$$6,675895 \text{ cm} \leq 42,76711 \text{ cm} \rightarrow \text{Oke}$$

b. Konfigurasi Tiang Tipe 2

Besarnya defleksi lateral yang dihasilkan dari SAP2000 terdapat pada *joint* CSP_24 sebagai berikut :

$$\delta_X \leq \delta$$

$$29,4129 \text{ cm} \leq 42,76711 \text{ cm} \rightarrow \text{Oke}$$

$$\delta_Y \leq \delta$$

$$15,11845 \text{ cm} \leq 42,76711 \text{ cm} \rightarrow \text{Oke}$$

c. Konfigurasi Tiang Tipe 3

Besarnya defleksi lateral yang dihasilkan dari SAP2000 terdapat pada *joint* SPP_80 sebagai berikut :

$$\delta_X \leq \delta$$

$$2,11105 \text{ cm} \leq 42,76711 \text{ cm} \rightarrow \text{Oke}$$

$$\delta_Y \leq \delta$$

$$3,293682 \text{ cm} \leq 42,76711 \text{ cm} \rightarrow \text{Oke}$$

4.6. Pembahasan

Berdasarkan analisa perhitungan yang telah dilakukan diperoleh beberapa point pembahasan sebagai berikut :

a. Defleksi lateral maksimum yang dihasilkan dari output SAP2000 dapat dilihat dibawah ini :

1. Konfigurasi tiang tipe 1

Defleksi lateral maksimum yang dihasilkan sebesar $\delta_X = -13,2804$ cm dan $\delta_Y = 6,675895$ cm dan terletak pada joint CSP_24.

2. Konfigurasi tiang tipe 2

Defleksi lateral maksimum yang dihasilkan sebesar $\delta_X = -29,4179$ cm dan $\delta_Y = 15,11845$ cm dan terletak pada joint CSP_24.

3. Konfigurasi tiang tipe 3

Defleksi lateral maksimum yang dihasilkan sebesar $\delta_X = -2,11105$ cm dan $\delta_Y = 3,293682$ cm dan terletak pada joint SPP_80.

Dari data diatas didapatkan bahwa pada konfigurasi tiang tipe ke-3 di hasilkan defleksi lateral baik arah x maupun arah y yang paling kecil dibandingkan dengan konfigurasi tiang tipe 1 dan konfigurasi tiang tipe 2. Hal tersebut dipengaruhi oleh banyaknya tiang miring yang digunakan. Pada konfigurasi tiang tipe 1 menggunakan 12 tiang miring, konfigurasi tiang tipe 2 tidak ada menggunakan tiang miring dan konfigurasi tiang tipe 3 menggunakan 40 tiang miring.

b. Untuk kontrol terhadap defleksi lateral menggunakan rumus broms dan didapat defleksi lateral izin sebesar, $\delta_{IZIN} = 42,76711$ cm. Setelah di cek ternyata ketiga tipe konfigurasi aman terhadap defleksi lateral karena defleksi lateral maksimum yang terjadi lebih kecil dari defleksi lateral izinnya.

1. Konfigurasi tiang tipe 1

$\delta_X = -13,2804$ cm $\leq \delta_{IZIN} = 42,76711$ cm (OKE)

$\delta_Y = 6,675895$ cm $\leq \delta_{IZIN} = 42,76711$ cm (OKE)

2. Konfigurasi tiang tipe 2

$\delta_X = 29,4179$ cm $\leq \delta_{IZIN} = 42,76711$ cm (OKE)

$\delta_Y = 15,11845$ cm $\leq \delta_{IZIN} = 42,76711$ cm (OKE)

3. Konfigurasi tiang tipe 3

$\delta_X = -2,11105$ cm $\leq \delta_{IZIN} = 42,76711$ cm (OKE)

$\delta_Y = 3,293682$ cm $\leq \delta_{IZIN} = 42,76711$ cm (OKE)

c. Gaya lateral maksimum yang dihasilkan dari SAP2000 dapat dilihat dibawah ini :

1. Konfigurasi tiang tipe 1

Gaya lateral maksimum yang dihasilkan : $H_X = 94,002$ kN dan $H_Y = 103,962$ kN dan terletak pada joint SPP_13.

2. Konfigurasi tiang tipe 2

Gaya lateral maksimum yang dihasilkan : $H_X = 81,396$ kN dan $H_Y = 71,914$ kN dan terletak pada joint SPP_7.

3. Konfigurasi tiang tipe 3

Gaya lateral maksimum yang dihasilkan : $H_X = 75,98$ kN dan $H_Y = 36,929$ kN dan terletak pada joint SPP_37.

Dari data diatas diperoleh bahwa gaya lateral yang terkecil terdapat pada konfigurasi tiang tipe 3 yang memiliki 40 tiang miring.

d. Untuk kontrol terhadap gaya lateral menggunakan rumus brom dan didapat gaya lateral izinnya sebesar, $H_{all} = 58,5455$ kN. Setelah di cek ternyata konfigurasi tiang tipe 1 dan konfigurasi tiang tipe 3 aman terhadap gaya lateral karena gaya lateral maksimum yang terjadi lebih kecil dari gaya lateral izinnya sedangkan konfigurasi tiang tipe 2 tidak aman karena gaya lateral maksimum yang terjadi pada tiang lebih besar dari pada gaya lateral izinnya.

1. Konfigurasi tiang tipe 1

Pada konfigurasi tiang tipe 1 ini gaya lateral maksimumnya terjadi di joint SPP_13 dimana di joint tersebut terdapat 2 buah tiang. Oleh karena itu gaya lateral izinnya dikalikan dengan jumlah tiang yang ada di joint tersebut sehingga gaya lateral izinnya menjadi, $H_{all} = 2 \text{ tiang} \times 58,5455 \text{ kN} = 117,09108 \text{ kN}$.

$H_X = 94,002 \text{ kN} \leq H_{all} = 117,09108 \text{ kN}$ (OKE)

$H_Y = 103,962 \text{ kN} \leq H_{all} = 117,09108 \text{ kN}$ (OKE)

2. Konfigurasi tiang tipe 2

Pada konfigurasi tiang tipe 2 ini gaya lateral maksimumnya terjadi di joint SPP_7 dimana di joint tersebut terdapat 1 buah tiang. Oleh karena itu gaya lateral izinnya, $H_{all} = 58,5455$ kN.

$H_X = 81,396 \text{ kN} \leq H_{all} = 58,5455 \text{ kN}$ (TIDAK OKE)

$H_Y = 71,914 \text{ kN} \leq H_{all} = 58,5455 \text{ kN}$ (TIDAK OKE)

3. Konfigurasi tiang tipe 3

Pada konfigurasi tiang tipe 3 ini gaya lateral maksimumnya terjadi di joint SPP_37 dimana di joint tersebut terdapat 2 buah tiang. Oleh karena itu gaya lateral izinnya dikalikan dengan jumlah tiang yang ada di joint tersebut sehingga gaya lateral izinnya menjadi, $H_{all} = 2 \text{ tiang} \times 58,5455 \text{ kN} = 117,09108 \text{ kN}$.

$H_X = 75,98 \text{ kN} \leq H_{all} = 117,09108 \text{ kN}$ (OKE)

$H_Y = 36,929 \text{ kN} \leq H_{all} = 117,09108 \text{ kN}$ (OKE)

e. Pada konfigurasi tiang tipe 1 dan konfigurasi tiang tipe 3 daya dukung tanah mampu memikul total beban akibat gaya lateral yang terjadi yang di distribusikan ke tiang pancang di karenakan gaya lateral yang terjadi lebih kecil dari pada gaya lateral izin sedangkan konfigurasi tiang tipe 2 daya dukung tanah tidak mampu memikul total beban akibat gaya lateral yang terjadi dikarenakan gaya lateral yang terjadi lebih besar dari pada gaya lateral izin.

f. Konfigurasi tiang tipe 2 tidak aman terhadap gaya lateral tetapi aman terhadap defleksi lateral itu disebabkan karena pada konfigurasi tiang tipe 2 ini tidak menggunakan tiang miring karena tiang miring dapat mempengaruhi gaya lateral yang terjadi.

- g. Banyaknya tiang miring yang digunakan dapat mempengaruhi besarnya defleksi lateral dan gaya lateral yang terjadi.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

- a. Konfigurasi tiang tipe 3 memiliki defleksi lateral dan gaya lateral yang paling kecil diantara dua tipe konfigurasi lainnya karena pada konfigurasi tiang tipe ke-3 ini paling banyak menggunakan tiang miring yaitu sebanyak 40 tiang miring dibandingkan dengan tipe lainnya.
- b. Ternyata semakin banyak tiang miring yang digunakan dapat mengurangi defleksi lateral dan gaya lateral yang terjadi.
- c. Konfigurasi tiang tipe 1 dan konfigurasi tiang tipe 3 aman terhadap gaya lateral dan defleksi lateral, sedangkan konfigurasi tiang tipe 2 tidak aman terhadap gaya lateral.
- d. Dari ketiga tipe konfigurasi tiang, konfigurasi tiang tipe 1 lebih baik digunakan karena lebih ekonomis dan lebih mudah dalam pelaksanaan dibandingkan konfigurasi tiang tipe 3 karena konfigurasi tiang tipe 1 lebih sedikit tiang miring sebanyak 12 tiang dibandingkan dengan konfigurasi tiang tipe 3.

5.2. Saran

Didalam program SAP2000 parameter tanah tidak dapat dimodelkan kedalam pemodelan konfigurasi tiang pancang sehingga SAP2000 hanya mampu menganalisis secara strukturalnya saja, untuk hal itu penulis menyarankan menggunakan program bantu geoteknologi seperti Plaxis tetapi Plaxis hanya bisa memodelkan kedalam bentuk 2D.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Anggoro, Trimu, *Perencanaan Detail Jetty LNG Di Perairan Tanjung Pakis Lamongan*. Jurnal Teknik Sipil, Surabaya.

Anwar, M.Ruslin Dan Gagoek Soenar, *Perencanaan Teknis Dermaga Pelabuhan Tanjung Awar-Awar Tuban Jawa Timur*. Jurnal Teknik Sipil Vol 3 No.1, Malang, 2009.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2013.

Bowles, Joseph E, *Analisis dan desain Pondasi Jilid I Edisi Keempat*. Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.

Bowles, Joseph E, *Analisis dan desain Pondasi Jilid II Edisi Keempat*. Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.

Imran, Iswandi Dan Fajar Hendrik, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Penerbit ITB.

Iskandar, Herliska, *Perencanaan Struktur Jetty Dan Perkerasan Terminal Multipurpose Di Morokrembangan*. Jurnal Teknik Sipil, Surabaya.

Hadihardaja, Joetata, *Rekayasa Fundasi II*. Penerbit Gunadarma.

Kramadibrata, Soedjono, *Perencanaan Pelabuhan*. Penerbit ITB, Bandung, 2002.

Kurniadi, Iman, *Analisis dan Desain Struktur Bagian Bawah Dermaga Ponton Di Babo Papua Barat*. Jurnal Teknik Sipil, Bandung.

Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung. Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, 1987.

Pokaton, Kern Youla, *Perencanaan Jetty Di Muara Sungai Ranoyapo Amurang*, Jurnal Teknik Sipil Vol 1 No.6, Manado, 2013.

Port Of Long Beach Wharf Design Criteria Versi 3. 2012.

Sardjono, HS, *Pondasi Tiang Pancang Jilid I*. Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya, 1988.

Sardjono, HS, *Pondasi Tiang Pancang Jilid II*. Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya, 1998.

SKSNI 03-1726-2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2002.

Suyono, Sosrodarsono, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta, 2000.

The Overseas Coastal Area Development Institute Of Japan (OCDI), *Thecnical Standarisasi For Port and Harbour Facilities In Japan*. Daikousha Printing co.Ltd, Tokyo Japan, 2002.

Tomlinson, M.J, *Pile Design And Construction Practice Edisi Ke-4*. Penerbit E & FN Spon, 1994.

Triatmodjo, Bambang, *Perencanaan Pelabuhan*. Penerbit Beta Offset, Yogyakarta, 2009.

Wahyudi, Herman, *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 1999

